

Markus Kakko

MegaSquirt-moottorinohjaimen rakennus ja asennus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

30.9.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Markus Kakko MegaSquirt-moottorinohjaimen rakennus ja asennus 29 sivua 30.9.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Kai Virta
<p>Tämä insinöörityö käsittelee ohjelmoitavaa MegaSquirt-moottorinohjaus järjestelmää ja sen käyttöönottoa. Työssä käydään läpi järjestelmän rakentaminen, asentaminen ja säätäminen. Työssä tutustutaan siinä käytettyihin antureihin ja niiden toimintaperiaatteisiin.</p> <p>Järjestelmän asennus suoritettiin kaasuttimella ja virranjakajasytytyksellä varustettuun bensiinikäyttöiseen vuosimallin 1980 Volvo 244 -henkilöautoon. Järjestelmän asennus käsittää kaasuttimen korvaamisen polttoaineen suihkutuksella sekä virranjakajasytytyksen korvaamisen hukkipinillä mallisella sytytysyksiköllä. Kohdeautoon asennettiin myös turboahdin, mutta työssä käsitellään vain ahto- eli ylipaineen vaikutuksia.</p>	
Avainsanat	megasquirt, moottorinohjain, ruisku, anturit

Author(s) Title	Markus Kakko Building and installing a MegaSquirt engine controller
Number of Pages Date	29 pages 30 September 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation technology
Instructor(s)	Kai Virta, Senior Lecturer
<p>This thesis studies a MegaSquirt engine controller unit and its commissioning. The focus is on the process of building and tuning MegaSquirt ECU. Sensors used in the project and their operation principles are also addressed.</p> <p>The system was installed in a 1980 Volvo 244 passenger car that originally had a carburetor fueling system and distributor-based ignition. Installation included replacing the carburetor with multipoint fuel injection and replacing distributor ignition with a wasted spark coil, both of which are controlled with MegaSquirt ECU. A turbocharger was also installed in the Volvo, but this thesis only addresses the effects of positive pressure.</p>	
Keywords	megasquirt, engine controller, injection, sensors

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	MegaSquirt	1
3	Rakentaminen	2
	3.1.1 Stimulaattori	2
	3.2 MegaSquirt	3
	3.2.1 Modit eli muutokset	4
	3.2.2 Firmware	5
4	Anturit ja toimilaitteet	5
	4.1 Lämpötila-anturit	5
	4.1.1 Ilmanlämpötila-anturi	5
	4.1.2 Moottorinlämpötila-anturi	6
	4.2 Kaasuläpän asentotunnistin	7
	4.3 Kampiakselin asentotunnistin	8
	4.3.1 VR-anturi	10
	4.3.2 Hall-anturi	12
	4.4 Lambda-anturi	12
	4.5 Paineanturi	14
	4.6 Polttoaineensyöttö	15
	4.7 Sytytysyksikkö	15
5	Asentaminen autoon	16
6	Säätäminen	17
	6.1 Perusasetukset	18
	6.2 Triggeripyörän asetukset	20
	6.3 Sytytyksen asetukset	23
	6.4 Polttoainekartta	25
	6.5 Sytytysennakokartta	26
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	28

Lyhenteet

AFR	Air/Fuel Ratio. Ilman ja polttoaineen seossuhde
CLT	Coolant Temperature. Jäähdytysnesteen lämpötila.
ECU	Electronic Control Unit. Moottorinohjausyksikkö.
EGO	Exhaust Gas Oxygen sensor. Lambda-anturi eli happitunnistin, joka mittaa jäännöshapen määrää pakokaasussa.
IAT	Intake Air Temperature. Imuilman lämpötila.
MAF	Mass Air Flow. Ilmamassa
MAP	Manifold Absolute Pressure. Imusarjan paine.
NTC	Negative Temperature Co-efficient. Lämpöanturin tyyppi, jossa vastus pienenee lämpötilan noustessa
TPS	Throttle Position Sensor. Kaasuläpän asentotunnistin.
VE	Volumetric Efficiency. Volumetrinen täyttö-/hyötysuhde.
YKK	Yläkuolokohta, se kohta, jossa mäntä on liikeratansa yläkohdassa
VR	Variable Reluctance sensor. Induktiivinen passiivinen anturi, jolla mitataan kampiakselin asentoa ja moottorin pyörimisnopeutta vauhtipyörältä tai erilliseltä hammaspyörältä.
Hall	Hall-ilmiöön perustuva aktiivinen anturi, jolla mitataan kampiakselin asentoa ja moottorin pyörimisnopeutta vauhtipyörältä tai erilliseltä hammaspyörältä.

1 Johdanto

Tämän työn kohteena on MegaSquirt-moottorinohjausyksikkö, joka on edullinen Tee Se Itse -henkinen rakennussarja, jolla on laaja harrastajakunta. MegaSquirt-yksikkö asennettiin vuosimallin 1980 Volvo 244 -henkilöautoon. Volvon kaksi litrainen B200-tyypin moottori oli alun perin varustettu Solex Cisac -kaasuttimella ja kärjettömällä virranjakajasytytyksellä. Kaasuttimen tilalle moottoriin asennettiin monipisteruiskutteinen polttoaineensuihkutusjärjestelmä, johon sisältyy suuttimet, kaasuläppä ja sähköinen polttoainepumppu. Virranjakajasytytys vaihdettiin hukkakipinä tyyppiseen sytytykseen, jota ohjataan MegaSquirtilla.

Työn tavoitteena oli ensisijaisesti saada vanhalle autolle parempi käytettävyys ja enemmän tehoa parempien säätömahdollisuuksien tuloksena. MegaSquirtin rakentaminen, sen asentaminen ja säätäminen oli projektina erittäin opettavainen. Rakentaminen vaatii hieman tietoa elektronisista laitteista, kytkentäkaavioiden lukutaitoa ja juotostaitoa. Asennettaessa yksikköä autoon joutui tekemään johtoliitoksia, kytkemään useita releitä ja antureita sekä huolehtimaan maadoituksesta. MegaSquirt säädetään tietokoneella, säädön arvot haetaan oikeiksi testaamalla, miten muutokset vaikuttavat moottorin toimintaan joko aistien varaisesti arvioimalla tai mahdollisuuksien salliessa dynamometrillä mittaamalla.

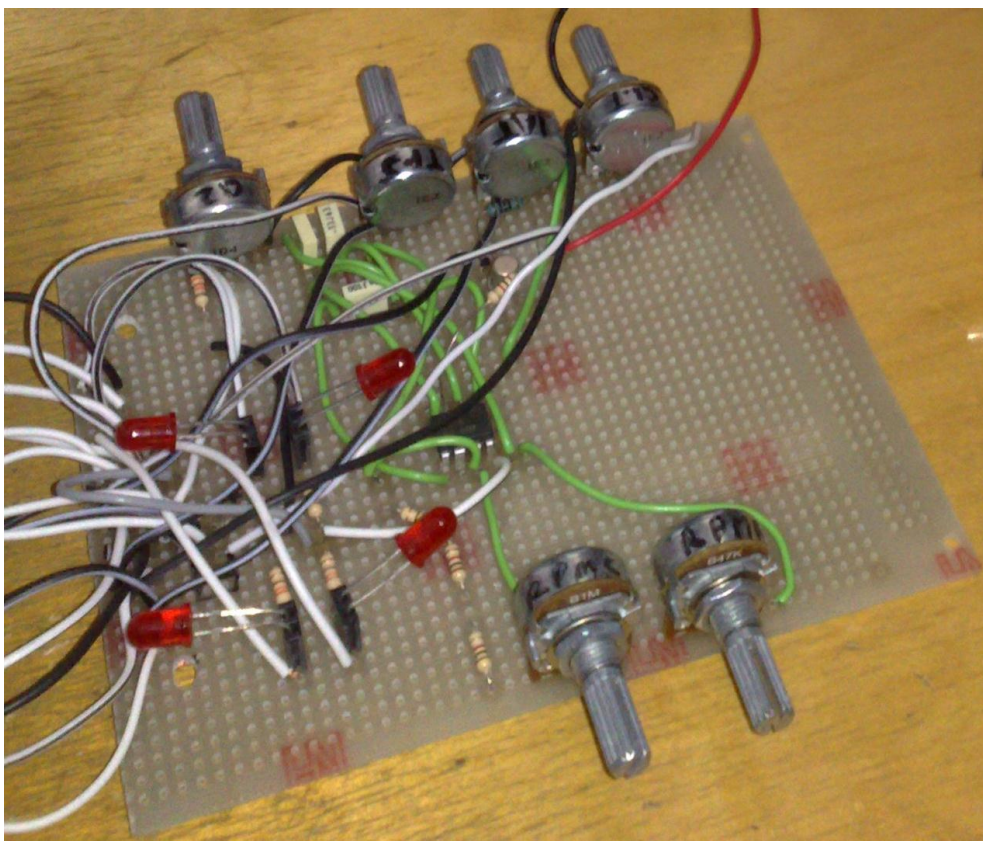
2 MegaSquirt

MegaSquirt on Al Grippon ja Bruce Bowlingin yhteistyönä kehittämä polttoaineen suihkutuksen ohjain. MegaSquirt-tavaramerkki käsittää ohjelmiston ja laitteiston. MegaSquirt on suunniteltu toimimaan kipinäsytytteisissä polttomoottoreissa. MegaSquirt ei ole valmis laite, joka vain asennetaan autoon, vaan MegaSquirt on ensisijaisesti opettavainen tee se itse -projekti, jonka aikana oppii auton moottorin ja ruiskun toiminnasta ja näiden säätämisestä paljon käytännön asioita.

3 Rakentaminen

3.1.1 Stimulaattori

Ennen MegaSquirt-laitteen rakentamista rakennettiin stimulaattori, joka on hyvä testilaitte MegaSquirtin testaamiseen ja simulointiin eri rakennusvaiheiden välillä. Stimulaattorin käyttäminen MegaSquirtia rakentaessa ei ole pakollista, mutta mahdollisissa vikatilanteissa se helpottaa vian etsintää, mikäli stimulaattoria on käytetty rakennusvaiheiden välillä.



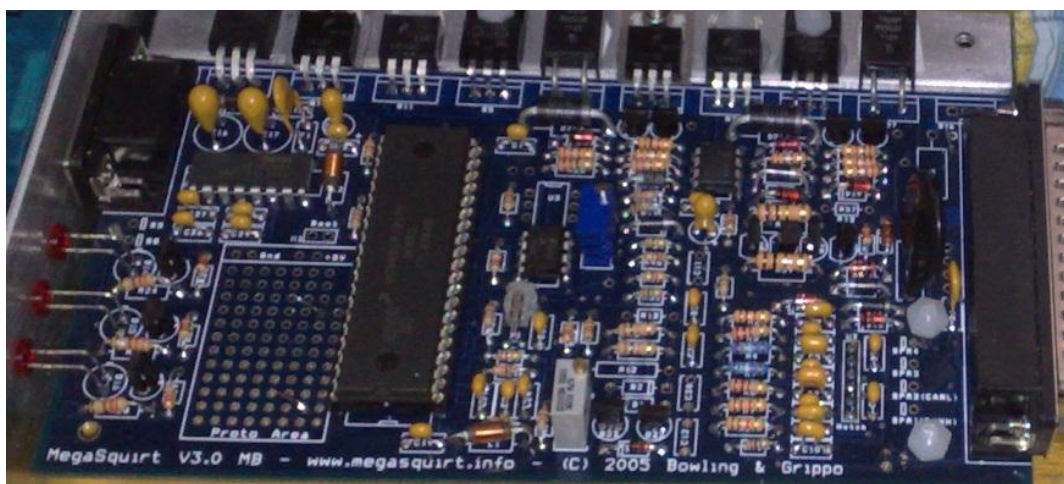
Kuva 1. Valmis stimulaattori.

Stimulaattorin pääkomponentteja ovat 555-ajastinpiiri, neljä lediä ja kuusi potentiometriä, joilla simuloidaan moottorin antureiden eri suureita. Kellopiirin tehtävä on simuloida pyörimisnopeusanturia, kellopiirin nopeutta säädetään kahdella potentiometrillä, karkea- ja hienosäätö. Muut potentiometrit simuloivat veden- ja ilmanlämpötila-anturia, kaasulämpötilan asentotunnistinta ja lambda-anturia. Ledit kertovat suuttimien sekä tyhjäkäyntireleen- ja polttoainepumpun ohjauksista. Stimulaattorilla

syötetään myös MegaSquirtin käyttöjännite, tehtäessä asennuksia tai testauksia ilman autoon kytkemistä. Stimulaattori ja MegaSquirt toimivat 9–12 V jännitteellä.

3.2 MegaSquirt

MegaSquirt-rakennussarjaa on tarjolla useita erilaisia. Tässä työssä käsitellään MegaSquirt MS1-prosessoria ja v3.0-piirilevyä. Prosessoriksi valittiin MS1, sillä sen ominaisuuksien todettiin olevan riittävät käyttötarkoitukseen. V3.0-piirilevy valittiin sen parempien häiriösuojaominaisuuksien, piirilevylle integroidun VR-muuntimen ja piirilevyltä löytyvän omille kytkennöille tarkoitetun ”prototyypialueen” vuoksi.



Kuva 2. Valmiiksi koottu MegaSquirt-piirilevy ilman modeja.

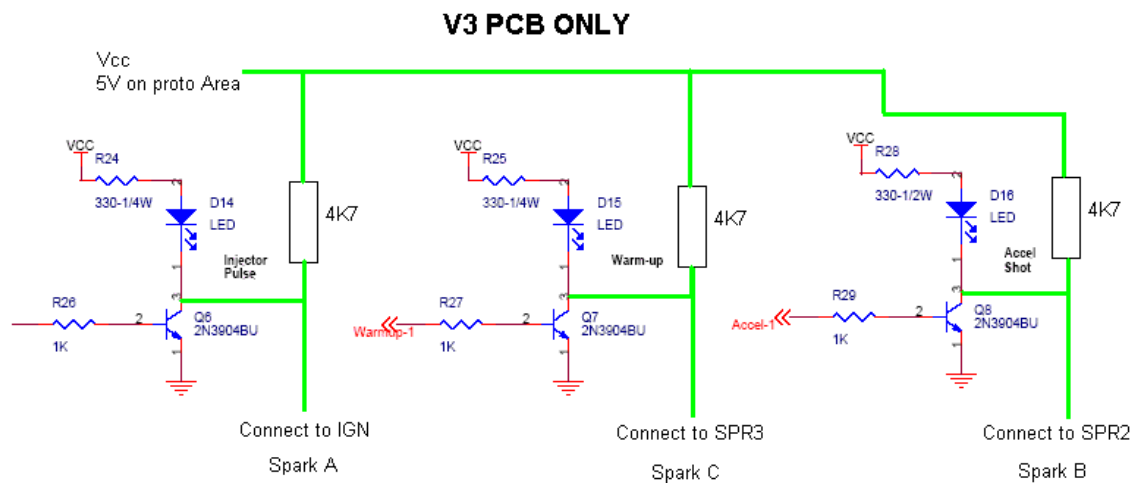
MegaSquirtin rakentaminen on yksinkertaista, sillä rakentamista varten on saatavana ohjeita, joissa selostetaan kädestä pitäen komponenttien sijoituspaikat ja asennusjärjestys. Rakentaminen kuitenkin edellyttää hyvää juotostaitoa, jotta vältytään kylmäjuotoksilta ja tinasilloilta ahtaissa juotoksissa.

MegaSquirtin kokoonpanossa on viisi vaihetta ja jokaisen vaiheen välillä on suositeltavaa suorittaa testaus. Osa vaiheista sisältää vaihtoehtoja, jotka riippuvat valituista antureista, suuttimista tai prosessorista. Esimerkiksi V3.0-piirilevyn voi rakentaa joko Hall- tai VR- anturia lukevaksi, MS1- tai MS2- prosessorille ja korkean tai matalan impedanssin suuttimille. Jotkut MS2-prosessoria varten tarvittavat muutokset eivät sovi MS1-prosessorille ja voivat rikkoa sen. Matalan impedanssin suuttimia varten tehdyt muutokset eivät vaikuta negatiivisesti, vaikka käytössä olisi korkean

impedanssin suuttimet. Stimulaattorin antama pyörimisnopeustieto vastaa suurin piirtein Hall-anturin signaalia, MegaSquirt jossa on VR-muuntopiiri ymmärtää signaalin, mutta ongelmien välttämiseksi varsinaisessa asennuksessa on parempi käyttää VR-anturia muuntopiirin kanssa.

3.2.1 Modit eli muutokset

Ohjeiden mukaan rakennettu vakio MegaSquirt on valmis käytettäväksi vain polttoaineen ohjaukseen. Mikäli halutaan ohjata myös sytytystä, vaaditaan erilaisia muutoksia riippuen sytytyskomponenteista. MegaSquirtilla on mahdollista ohjata sytytyspuolaa joko suoraan tai erillisen modulin kautta. Sytytyspuolaa suoraan MegaSquirtilla ohjattaessa täytyy piirilevyllä asentaa ”sytkäkievet” eli tehotransistorit, jotka sietävät paljon virtaa. Tässä työssä käytettiin kuitenkin sytytyspuolaa, joka sisältää oman ohjausmodulin. Kyseinen moduli tarvitsee toimiakseen MegaSquirtilta 5 V-ohjaussignaaleja kummallekin puolelle. Signaalit saadaan otettua MegaSquirtin merkkiledien maajohtimesta.



Kuva 3. Sytytysmodin piirikaavio [11]

Ledien D14- ja D16- maajohtimilta tuotiin johtimet V3.0-piirilevyn prototyyppialueelle. Tästä pisteestä vietiin johtimet DB37-liittimen tyhjiin pinneihin, joita on piirilevyllä IGN ja SPR1–4. Samaan pisteeseen tuodaan +5 V jännite, ylösvetovastuksien kautta, piirikaaviosta poiketen käytettiin 470 Ohm vastuksia. Ylösvetovastus ehkäisee jännitteen ”kellumista”, kun signaalin ohjaus ei ole päällä.

3.2.2 Firmware

Rakennussarjan mukana tulevassa prosessorissa on esiasennettuna Bowling & Grippon kehittämä alkuperäinen firmware, jolla kyetään ohjaamaan vain polttoaineen syöttöä, kun kyseessä on MS1-prosessori. Sytytyksennakon sekä muutama muu ominaisuus vaativat erilaisen firmwaren. Yleisin päivitys MS1-prosessorille on MegaSquirt Extra -koodi, joka on Philip Ringwoodin ja James Murreyn kehittämä päivitys B & G alkuperäiseen firmwareen. MS1 Extra -koodi sisältää sytytysennakon säätömahdollisuuden lisäksi mahdollisuuden lukea moottorin kierrosnopeustietoa monihampaiselta triggeripyörältä. MS1 Extra -koodi laajentaa myös polttoaine- ja sytytyskartat 12x12-kokoon alkuperäisen 8x8 sijaan, säädön tarkkuus kasvaa.

4 Anturit ja toimilaitteet

MegaSquirt, kuten muutkin moottorinohjausjärjestelmät tarvitsevat toimiakseen paljon dataa moottorin toiminnasta, olosuhteista ja kuljettajan antamista käskyistä. Tämän datan keräämiseen tarvitaan useita eri antureita eri puolilla moottoria. MegaSquirt vaatii kunnolla toimiakseen tiedon ilman- ja jäähdytinnesteen lämpötilasta, kaasuläpän asennosta, imusarjan paineesta sekä moottorin pyörimisnopeuden. Saadun datan perusteella ECU jakaa käskyjä toimilaitteille, kuten suuttimille, polttoainepumpulle, sytytykselle ja mahdollisesti ahtopaineen säätimelle.

4.1 Lämpötila-anturit

MegaSquirt ECU:ssa oleva ohjelma on alun perin suunniteltu GM:n käyttämien antureiden arvoille, tästä johtuen kytkettäessä muiden valmistajien antureita, saadaan vääriä arvoja. Tämä on korjattavissa EasyTherm-ohjelmalla. EasyThermiin syötetään käytettävän anturin kolme eri lämpötilassa mitattua vastussarvoa. Niistä ohjelma luo konfiguraatio tiedoston, joka voidaan ladata MegaSquirtille.

4.1.1 Ilmanlämpötila-anturi

Järjestelmään valittiin ilmanlämpötila-anturiksi avorakenteinen Bosch 0 280 130 085 -mallinen NTC-tyyppinen anturi. Anturin valintaan päädyttiin hyvien käyttäjäkokemusten ja hyvän hinta-laatusuhteen perusteella.



Kuva 4. Bosch 0 280 130 085 ilmanlämpötila-anturi [3]

Avorakenteisen anturin etuihin umpirakenteiseen verrattuna on sen nopeus. Nopeus on tärkeää mitattaessa moottoriin menevän ilmanlämpötilaa, joka voi vaihdella suuresti ajo-olosuhteista riippuen. MegaSquirt käyttää ilmanlämpötilaa oikean polttoaineseoksen laskemiseen.

4.1.2 Moottorinlämpötila-anturi

Moottorin lämpötilaa mitataan jäähdytysnesteestä. Anturi sijaitsee kannen takaosassa imusarjan alapuolella. Moottorinlämpötila-anturi on umpirakenteinen Bosch 0 280 130 032 -mallinen NTC-tyyppinen anturi. Anturi on ollut käytössä Volvon ruiskumoottoreissa, joten se ei vaadi adapteria sopiakseen.

Fig. A



Kuva 5. Bosch 0 280 130 032 jäähdytysnesteentilalämpötila-anturi [3]

Umpirakenteinen anturi toimii hyvin mitattaessa nesteitä, sillä nesteissä lämpötilojen muutokset ovat ilmaan verrattuna hitaita.

4.2 Kaasulämpötilan asennustunnistin

Kaasulämpötilan asennustunnistimeksi valittiin Bosch 280 122 001, koska se sopii Volvossa käytetyn kaasulämpötilan akseliin. Akseli on noin 5 mm liian pitkä, joten vaihtoehtoina on lyhentää akselia tai rakentaa adapterilevy. Tässä kokoonpanossa päädyttiin rakentamaan adapterilevy, jolloin myös anturin asentoa saatiin säädettyä. Anturissa on yksi lineaarinen potentiometri.



Kuva 6. Bosch 280 122 001 kaasuläpän asentotunnistin [8]

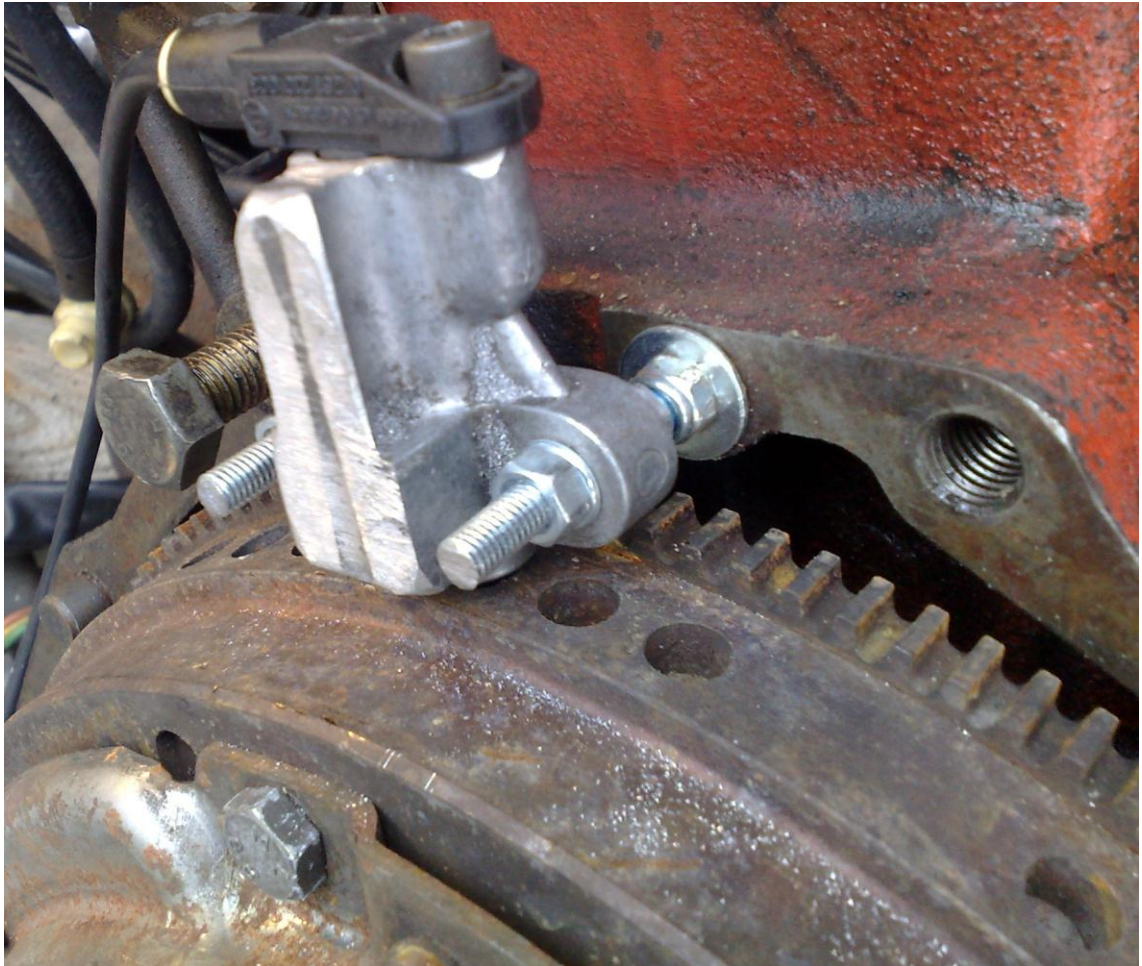
MegaSquirt ei mittaa kaasuläpän asentoa vastuksesta, vaan potentiometrin jakamasta jännitteestä maatasen ja +5 V referenssijännitteen väliltä. Kaasuläpän asento kalibroidaan käyttöönottovaiheessa MegaTune-ohjelmassa. MegaSquirtissa on mahdollista käyttää kaasuläpän asentoarvoa säädössä, useimmat päätyvät käyttämään imusarjan painetta tai ilmamassaa säätösuureena, niiden tarjoaman paremman tarkkuuden vuoksi. Kaasuläpän asentotunnistimen tehtäväksi jää tällöin kiihdytsrikastuksien ja moottorijarrutuksessa polttoaineen syötön katkaisun ohjaaminen.

4.3 Kampiakselin asentotunnistin

Jos käytetään alkuperäistä B & G -firmwarea, moottorin kierrosnopeustieto saadaan puolan negatiivisen navan liipaisusta, tällöin myös sytytyksen ennakonsäätö on pois suljettu. Mikäli käytetään päivitettyä firmwarea tai MS2 tai uudempaa prosessoria, on kampiakselin asentotunnistin yksi tärkeimmistä antureista moottorinohjausjärjestelmässä, ilman tätä anturia ohjausyksikön olisi mahdotonta tarkasti päätellä, missä vaiheessa työhtia moottori on. Asentotiedolla pystytään ajoittamaan suuttimien aukaisu- ja sytytyksen liipaisu kohdat. Kampiakselin asentotunnistinta käytetään myös pyörimisnopeuden mittaamiseen. Anturi mittaa asentotiedon vauhtipyörältä tai erilliseltä hammaspyörältä ns. "triggeripyörä".

Triggeripyörä on rautainen hammaspyörä josta puuttuu yksi tai useampi hammas. Tällaisia, usein käytettyjä, ovat esimerkiksi: 12-1, 36-1, 60-2. Triggeripyörän tyyppi

luetaan: "36 miinus yksi". Tämä tarkoittaa, että kehällä on 35 hammasta ja yksi tyhjä paikka, puuttuva hammas. Puuttuva hammas merkkää MegaSquirtille kampiakselin yhden kierroksen päätöstä.



Kuva 7. VR-anturi asennettu lukemaan anturikehää Volvon vauhtipyörältä

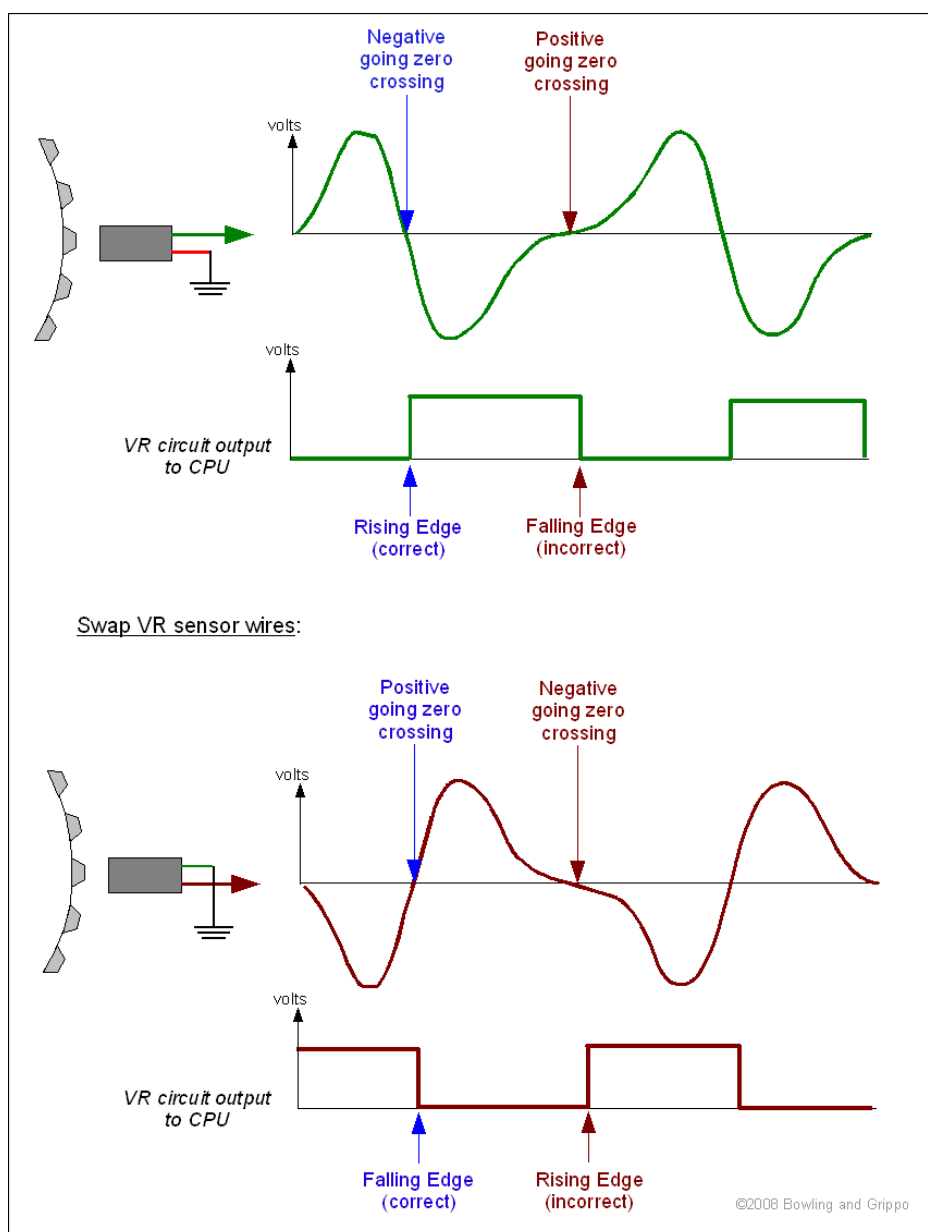
Volvon vauhtipyörän 60-2 anturikehässä on hampaiden sijaan reikiä, kuvassa 7. näkyvät myös puuttuvat kaksi reikiä. Kuvaa 7. katsottaessa vauhtipyörä pyörii vasemmalle eli vastapäivään. Puuttuvien reikien jälkeen tuleva reikä on reikä #1, josta MegaSquirt alkaa laskemaan uutta kierrosta.

MegaSquirtissa käytetään kahta eri anturityyppiä kampiakselin asennon mittaamiseen. VR- ja Hall- anturia.

4.3.1 VR-anturi

VR-anturi on induktio-anturi joka koostuu rautasydäimestä, jonka ympärille toiseen päähän on käämitty johdin ja jonka toisessa päässä on kestopagneetti. VR-anturi on passiivinen eli se ei vaadi ulkoista virtalähdettä. Triggeripyörän hampaan lähestyessä anturin kärkeä magneettivuon muutos tuottaa jännitettä. Hampaan poistuessa anturin aistialueelta magneettikenttä vaihtuu taas nopeasti tuottaen vastakkaismerkkistä jännitettä. VR-anturin tuottama signaali on vaihtojännitettä. Signaalin jännitteen suuruus on riippuvainen magneettikentän vaihtelun nopeudesta. Signaalin vahvuuden riippuvuus kappaleen nopeudesta on suuri ongelmakohta, sillä hitaasti pyörivät kappaleet saavat aikaan heikon signaalin, jota MegaSquirtin on vaikea havaita.

Tämä saattaa tuottaa ongelmia, mikäli akun varaus on alhainen, jolloin moottori pyörii käynnistäessä hitaasti. VR-anturin passiivisuudesta ja signaalin voimakkuuden vaihteluista johtuen se on herkkä häiriöille, joita saattaa tulla esimerkiksi auton laturista tai sytytysjohdoista. VR-anturin johdotukset on syytä suorittaa häiriösuojatulla kaapelilla ja pitää kaapeli erossa virtajohtimista. VR-anturin positiivisena puolena voidaan pitää edullista hintaa ja sen kykyä lukea erittäin suuria pyörimisnopeuksia ja tiheää hammaskehää: Tiheällä hammaskehällä saavutetaan suuri tarkkuus.

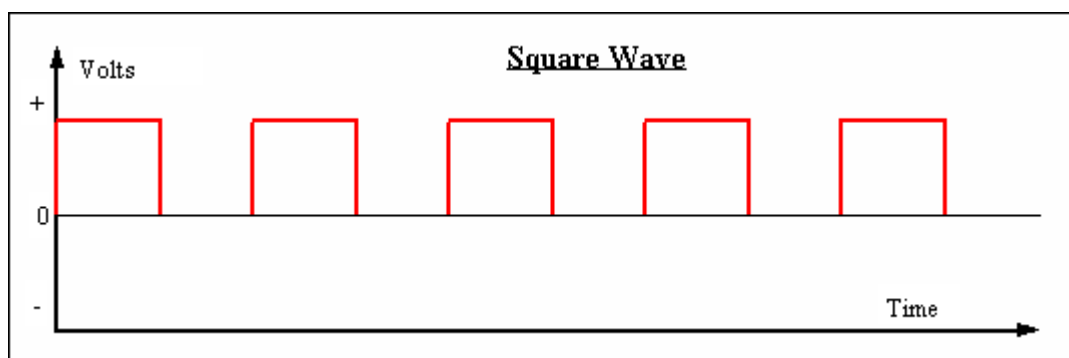


Kuva 8. VR-anturin vaihtojännite signaali ja muunnospiirin kääntämä digitaalinen signaali [6]

Anturista lähtee kaksi signaalijohdinta, positiivinen (+) ja negatiivinen (-). Toinen johdin kytketään MegaSquirtin VR-input pinniin #24 ja toinen maadoitetaan. VR-anturissa pyörimissuunnalla ei ole vaikutusta signaalin napaisuuteen. Napaisuuden saa vaihdettua vaihtamalla signaalijohtimet toisin päin. Napaisuuden vaihto vaikuttaa siihen, luetaanko signaali nousevalta vai laskevalta reunalta. Valinta tehdään tietokoneella MegaTune-ohjelmassa, jos valinta on tehty väärin MegaSquirt saa vääränlaista signaalia, joka aiheuttaa ongelmia.

4.3.2 Hall-anturi

Hall-anturi on aktiivinen Hall-efektiin perustuva muunnin. Hall-anturi sisältää johtimen ja useimmissa hall-antureissa on mikropiiri signaalin muuntoa varten. Johtimen läpi syötetään jännitettä. Kun magneettikenttä muuttuu, muuttuu virran kulku johtimessa. Muutos vahvistetaan, ja mikropiirissä muutetaan puolijohteen tila ei-johtavaksi tai johtavaksi. Hall-anturista saadaan ulos digitaalista kanttiaaltoa. Digitaalisen signaalin etu on se, että MegaSquirt ei tarvitse erillistä muunninta signaalin tulkitsemiseen.



Kuva 9. Hall-anturin tuottamaa kanttiaalto signaalia [6]

Hall-anturin signaalin vahvuus ei ole riippuvainen magneettikentän muutosnopeudesta, joten hall-anturilla voidaan havaita myös kappaleita, jotka eivät ole liikkeessä. Hall-anturia voidaan pitää eräänlaisena digitaalisena kytkimenä. Koska hall-anturi pystyy lukemaan hyvin myös hitaita kappaleita, käynnistettäessä hitaasti pyörivä moottori ei tuota signaalin lukuongelmaa, kuten VR-anturin tapauksessa. Hall-antureiden nopeus on normaalisti VR-antureita hitaampi, halvemmissa hall-antureissa tämä pitää edelleen paikkansa, mutta nykyään on myös hall-antureita, jotka pystyvät lukemaan nopeasti pyörivää ja tiheähampaista triggeripyörää ongelmitta.

4.4 Lambda-anturi

Lambda- tai happianturilla mitataan jäännöshapen määrää moottorilta tulevasta pakokaasusta. Hapen määrästä pakokaasussa voidaan laskea moottoriin syötettävän polttoaineen ja ilman seossuhde. Lambda-anturi sijoitetaan pakoputkeen lähelle moottoria, pakokaasut ovat siellä kuumimmillaan. Nykyään lähes kaikki lambda-anturit ovat kuitenkin sähköisesti lämmitettyjä, joten asennuspaikka ei ole niin tarkka.

Lambda-anturi on "galvaaninen kenno", eräänlainen akku. Anturi sisältää kaksi huokoista platina elektrodia, joiden välissä on keraaminen elektrolyytti (Zirkoniumdioksidi). Lambda-anturi tuottaa jännitettä välillä 100-900 mV jännitteen suuruus riippuu pakokaasun hapen määrästä.

Anturi mittaa pakokaasua ja vertaa sitä ulkopuolella olevaan ilmaan. Ilmakehässä on keskimäärin 21 % happea, rikkaassa seoksessa on tyypillisesti 0 % happea, kun taas laihassa seoksessa voi olla jopa 3–4 % happea. Pakokaasun jäännöshapen määrä on kääntäen verrannollinen anturin tuottaman jännitteen suuruuteen. Rikkaalla seoksella erotus ulkoilman ja pakokaasun hapen määrän välillä on suuri ja elektrodien johtavuus kasvaa, joten jännite on suuri, kuitenkin korkeintaan 900 mV. Laihalla seoksella elektrodien johtavuus pienenee ja jännite voi pudota noin 100 mV:iin. Ideaalilla eli stokiometrisellä seoksella anturi tuottaa 450 mV jännitteen. Ideaalin seoksen lambda-arvo on 1, seossuhteeksi muutettuna 14,7:1 eli 14,7 kg ilmaa yhtä polttoainekiloa kohden.



Kuva 10. Bosch 0 258 007 057 laajakaistalamdba-anturi [9]

Anturiksi valittiin Bosch 0 258 007 057, jota myydään pakettina yhdessä Innovaten LC-1 laajakaistalamdba ohjaimen kanssa. Laajakaistalamdba on valittu sen suuren tarkkuuden vuoksi. Tyypillisellä kapeakaistalamdbdalla kyetään tarkasti toteamaan vain, onko pakokaasun lambda-arvo 1, eli onko seos stokiometrinen. Stokiometrisellä

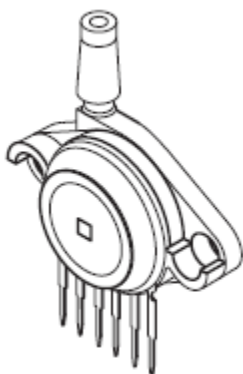
seoksella kapeakaistalambdan signaalin vaihtelee 100 mV ja 900 mV välillä. Tästä saadaan keskiarvoksi 450 mV.

Laajakaistalambda eroaa kapeakaistalambdasta rakenteellisesti ja sitä myöden toiminnallisesti. Laajakaistalambda sisältää eräänlaisen elektrokemiallisen kaasupumpun. Kaasupumpun sähkövirtaa säättää piiri, joka sisältää takaisinkytketyn silmukkaohjauksen. Piiri pyrkii pitämään anturin kennon ulostulosignaalin tasaisena. Pumppuun syötetyn virran määrästä saadaan selville pakokaasun sisältämä hapen määrä. Tällä on saatu eliminoitua kapeakaistalambdassa tyypillinen rikas-laiha sykli.

Laajakaistalambda yhdistettynä ohjaimeen tarjoaa tarkkaa dataa moottorin seossuhteesta välillä 7:1–22:1. Ohjaimelta saadaan signaalit MegaSquirtille ja erilliselle seossuhdemittarille. MegaSquirt ei tarvitse toimiakseen lambda-anturia. Lambda-anturia käytettäessä on mahdollista kytkeä MegaSquirtista päälle automaattisia seoksen korjauksia, joilla MegaSquirt pyrkii pitämään seossuhteen annetussa arvossa.

4.5 Paineanturi

Paineanturilla mitataan imusarjassa vallitsevaa painetta. Imusarjan paineen ja moottorin pyörimisnopeuden perusteella voidaan määritellä moottorin kuormitus. Vapaastihengittävän moottorin imusarjassa vallitsee alipaine. Turboahdetun moottorin imusarjassa paine vaihtelee myös ylipaine alueella.



Kuva 11. MPX4250AP paineanturi [11]

MegaSquirt rakennussarjan mukana tuleva MPX4250AP paineanturi mittaa painetta alueella 20–250 kPa, eli sillä kyetään näkemään 150 kPa eli 1,5 barin ylipaine.

4.6 Polttoaineensyöttö

MegaSquirtin pääasiallinen tehtävä on huolehtia polttoaineensyötön ohjauksesta. Polttoaineensyötössä suuttimet ja polttoainepumppu ovat tärkeimmät osat. Muita osia ovat polttoaineen paineregulaattori ja polttoaineen suodatin. Paineregulaattoria ohjataan suoraan imusarjanpaineella MegaSquirtista riippumatta. Regulaattori pitää polttoaineen paineen vakiona suhteessa imusarjanpaineeseen. MegaSquirtilla ohjataan polttoainepumpun rele päälle tai pois. Polttoainepumppuja voi olla useampia esimerkiksi siirtopumppu ja ruiskupumppu.

Matalapaineinen siirtopumppu siirtää polttoainetta korkeapaineiselle ruiskupumpulle, joka pumppaa polttoaineen polttoainekiskon läpi regulaattoriin. Tärkein ohjaus kohdistuu suuttimiin, joita MegaSquirt ohjaa polttoainetaulukoon syötettyjen arvojen perusteella. Suuttimet ovat käytännössä magneettiventtiileitä, jotka avautuvat, kun niihin syötetään virtaa. Suuttimia on kahta eri perustyyppiä, korkea- ja matalaimpedanssisia. Korkeaimpedanssisten vastus on yli 10 Ohm, ja matalaimpedanssisten vastus on alle 4 Ohm. Suuttimen impedanssi vaikuttaa suuttimelle syötettävän virran määrään, mikäli matalaimpedanssiselle suuttimelle syötetään liikaa virtaa, suuttimen kela palaa, jos korkeaimpedanssiselle suuttimelle syötetään liian vähän virtaa suutin ei välttämättä jaksa avautua. Tässä työssä käytetyt suuttimet ovat Boschin 280 150 357 –malliset, ja niiden virtaus on 284 cc/min 3 barin polttoaineen paineella. Suuttimet ovat Volvo 740 Turbon vakiot.

4.7 Sytytysyksikkö

MegaSquirtilla voidaan ohjata polttoaineen syötön lisäksi myös sytytystä. Oletuksena MS1-prosessorilla ei ole tätä mahdollisuutta, mutta MSEExtra-koodin asentamalla ominaisuus saadaan avattua. MegaSquirtin MS1- ja MS2- prosessoreilla kyetään ohjaamaan korkeintaan kuutta sytytyspuolaa erikseen. Sytytykseen valittiin hukkakipinä-tyyppinen VAG 032 905 106B -sytytyspuola. Kyseinen puola on käytössä useissa Volkswagen-konsernin automalleissa. Puola sisältää sytytysmodulin. Puolan sisäisen modulin ansiosta MegaSquirtin piirilevyllä ei tarvinnut lisätä erillisiä

tehotransistoreita puolan ohjausta varten. Sisäisen sytytysmodulin lisäksi valintaa puolsi verrattain edullinen hinta ja helposti saatavilla olevat tiedot puolan ohjauksesta.



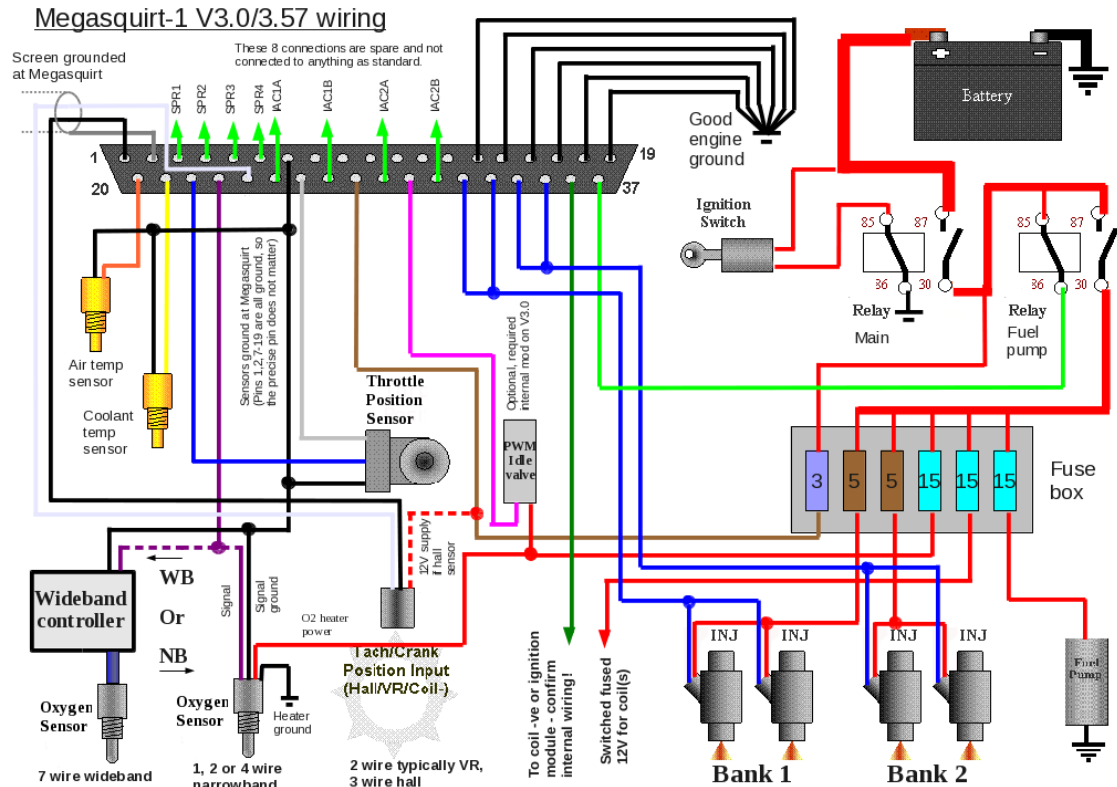
Kuva 12. Sytytyspuola ilman tulpanjohtoja, asennettuna auton tulipeltiin

Hukkakipinäsytytysyksikkö sisältää kaksi sytytyspuolaa, joita ohjataan vuorotellen. Kummaltakin puolalta lähtee kaksi tulpanjohtoa. Samalla puolalla olevat johdot viedään 180 astetta eri tahdissa oleville sylintereille. Puolan saadessa ohjauksen, se antaa kipinän molempiin siihen kytkettyyn johtoon, toinen kipinä menee aina hukkaan ja siitä tulee nimitys ”hukkakipinä”.

5 Asentaminen autoon

MegaSquirt asennettiin autoon, jossa ei ollut ollut mitään edellä mainituista komponenteista. Kaikkien anturien ja muiden toimilaitteiden, kuten releiden asentaminen vaati johtosarjan rakentamisen. MegaSquirtia varten asennettiin autoon uusi sulakerasia, joka saa virtansa varta vasten asennetun pääreleen kautta. Pääreleen ohjaus on otettu auton alkuperäisestä sulakerasiasta, sulakkeelta, jonka

ohjaus ei katkea starttauksen aikana. Pääreleen lisäksi autoon asennettiin releet polttoainepumppua ja sähköistä jäähdyttimen puhallinta varten. Puhaltimen ohjaus olisi mahdollista toteuttaa myös MegaSquirtin kautta, mutta tässä työssä päätettiin käyttää jäähdyttäjässä olevaa lämpökytkintä. Lisäksi asennettiin sähköinen ruiskumoottorin polttoainepumppu.



Kuva 13. MS1 V3.0 ulkoiset kytkennät [2]

Autoon ei asennettu tyhjäkäynti solenoidia, joka on myöhemmin osoittautunut huonoksi ratkaisuksi siitä seuranneen huonon kylmäkäynnistyksen vuoksi. Autoon on olemassa Boschin kaksi kelainen tyhjäkäyntisolenoidi, jota ohjattaisiin releellä. MegaSquirt vetää releen päälle alle 71 °C ja päästää moottorin ollessa yli 71 °C, rele ohjaa vaihtokärjillä maadoituksen solenoidin keloille.

6 Säättäminen

MegaSquirtin säätäminen tapahtuu tietokoneella. MegaSquirt kytketään tietokoneen sarjaporttiin, jos sarjaporttia ei löydy on käytettävä RS232-USB-adapteria. Tässä

työssä käytetään USB-adapteria. Kaikki USB-adapterit eivät ole yhteensopivia MegaSquirtin kanssa ja siitä aiheutuu yhteysongelmia. Toimiva adapteri löytyi muiden käyttäjien kokemusten perusteella. Adapteri on hankittu Clas Ohlsonilta ja sen toiminta MegaSquirtin kanssa on todettu Windows XP-, Windows Vista- ja Windows 7 64bit -käyttöjärjestelmien kanssa.



Kuva 14. MegaTune ohjelmassa näkee reaaliajassa tiedot moottorin antureilta.

MegaSquirtin säätämistä varten on saatavilla ilmaisia ohjelmia, käytetyimpiä ovat TunerStudio ja MegaTune, joista jälkimmäinen on yleisempi. Tässä työssä säätäminen on tehty MegaTune ohjelmalla.

6.1 Perusasetukset

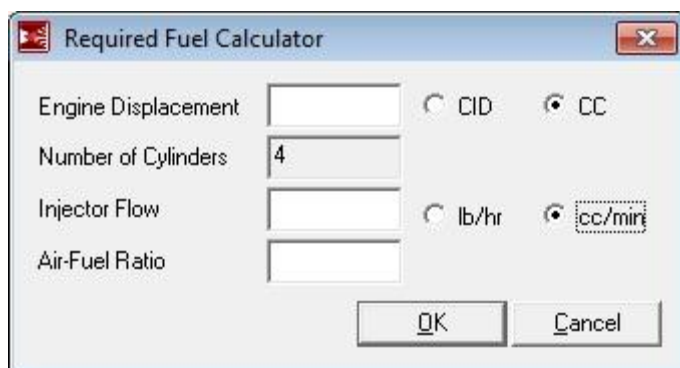
Ennen kuin moottori voidaan käynnistää on suoritettava perusasetuksien säätö. Perusasetukset sisältävät sytytyksen, triggeripyörän ja polttoaineensyötön asetukset. Constants eli vakioasetuksissa määritellään, kuinka MegaSquirt ohjaa suuttimia:

- Control Algorithm, ohjaus algoritmi määrittelee käyttääkö MegaSquirt moottorin kierrosnopeutta ja imusarjan painetta (Speed Density) vai kaasun asentoa (Alpha N) ruiskutettavan polttoaineen määrän laskemiseen.
- Ruiskutuksien määrä moottorin tahtia kohden.
- Suuttimien ohjaus: Vuorotellen (Alternating) tai kaikki yhtäaikaan. Käytetään vuorottelevaa, kun halutaan tarkempi ohjaus.
- Moottorin sylinterien määrä.
- Moottorin tahtien määrä, kaksi tai neljä.
- Suuttimien määrä.
- Paineanturin malli. 250 kPa tai 450 kPa
- Moottorin tyyppi, tasavälein tapahtuva sytytys (Even fire) tai epätasavälein tapahtuva sytytys (Odd fire), jälkimmäinen on harvinainen, mutta esimerkiksi Volvoissakin käytetyn 90-asteisen PRV V6 -moottorin ensimmäinen sukupolvi käyttää tätä.

Kuva 15. Työssä käsitellyn Volvon asetukset.

Injector characteristics eli suuttimien ominaisuuksissa määritellään jännitehäviökorjauksia, PWM-virran ja suuttimien aukaisuun käytetyn ajan rajoitukset matalaimpedanssisille suuttimille. Tässä työssä MegaSquirt-piirikortille asennettiin

"Flyback Board", joka suojaa MegaSquirtia ja suuttimia ylivirralla. Flyback-piirin kanssa suuttimien virta rajoitetaan PWM:llä 30 % :iin ja aukaisuun käytetty aika 1 ms:ään. Virranrajoitukset voi korvata ulkoisella suuttimen esivastuksella, mutta esivastuksen käyttö saattaa hidastaa suuttimien toimintaa tarpeettomasti.

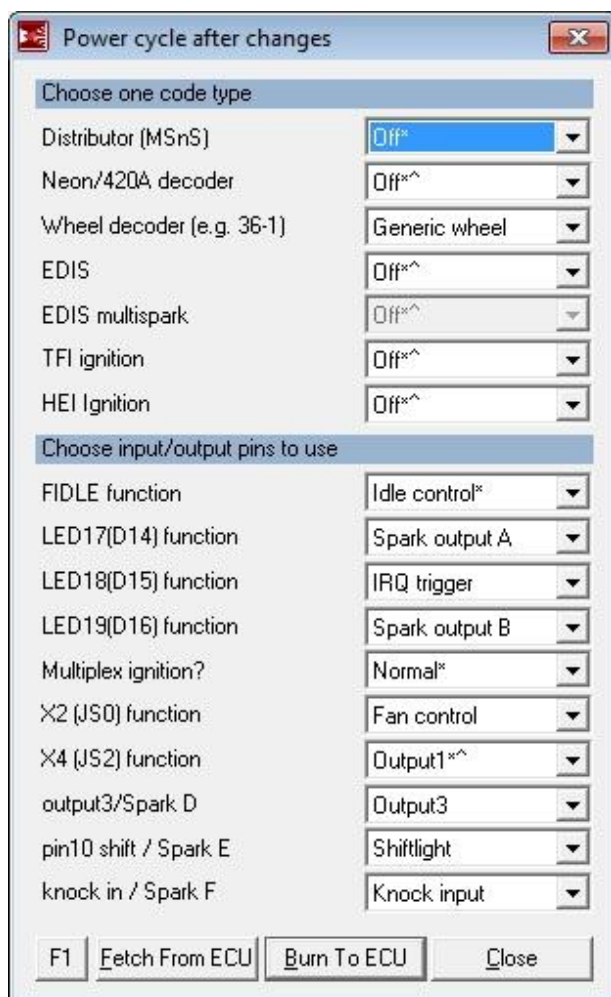


Kuva 16. Req_Fuel -laskurilla lasketaan moottorin tarvitsema peruspolttoaineenmäärä

Req_Fuel-laskurilla lasketaan moottorin yhden sylinterin tarvitsema polttoaineen määrä 100 % VE-arvolla ja annetulla tavoite AFR:lla. Tulos ilmoitetaan suuttimen aukioloaikana millisekunteinä. Tulokseen vaikuttaa moottorin tilavuus, sylintereiden määrä, suuttimien koko ja tavoiteltava AFR, 14,7:1 bensiinille (98 oktaaninen), 10,0:1 etanolille (E85). Req_Fuel-arvo vaikuttaa suoraan moottorin säätämiseen. Req_Fuel-arvoa voidaan käyttää hyödyksi myös suuttimia valitessa.

6.2 Triggeripyörän asetukset

MegaSquirt käyttää oletuksena moottorin kierrosnopeuden lukemiseen puolan negatiivisen navan liipaisua, ennen kuin voidaan käyttää triggeripyörää ja asentoanturia on tehtävä muutoksia asetuksiin.



Kuva 17. Tämä valikko sisältää sytytyksen kannalta oleellisia perusasetuksia

Ensin on määriteltävä, että MegaSquirt ei käytä jakajasytytystä, vaan lukee kierrosnopeustiedon ja lisäksi asentotiedon triggeripyörältä. Distributor eli jakaja-asetus on laitettava Off-tilaan ja otettava Wheel decoder -kohdasta käyttöön geneerinen triggeripyörä. Tuloista ja lähdöistä on määriteltävä ledit D14- ja D16- sytytyksen lähdöiksi spark output A:ksi ja spark output B:ksi. Muita asetuksia ei ole ollut tarvetta muuttaa tässä työssä.

Triggeripyörän asetuksissa määritellään MegaSquirtille, minkälainen triggeripyörä on käytössä ja kuinka sitä luetaan.

Parameter	Value
Wheel decoder base teeth	60
2nd trigger enable	Off
2nd trigger active edge	falling (like IRQ)
2nd trigger and missing teeth	no missing
Missing teeth	-2
Trig pos A	6
Trig return pos A	14
Trig pos B	36
Trig return pos B	44
Trig pos C	0
Trig return pos C	0
Trig pos D	0
Trig return pos D	0
Trig pos E	0
Trig return pos E	0
Trig pos F	0
Trig return pos F	0
Dual dizzy mode (see F1)	Normal
Wheel decoder routine	025 style

Buttons: F1, Fetch From ECU, Burn To ECU, Close

Kuva 18. Triggeripyörän asetukset.

Ensin syötettiin triggeripyörän hampaiden peruslukumäärä, tässä työssä 60. Sitten annettiin puuttuvien hampaiden lukumäärä, kaksi. Trig pos. A on se hammas triggeripyörällä joka luettaessa annetaan kipinäsignaali A, näissä asetuksissa kuudes hammas puuttuvien hampaiden jälkeen. Tämä signaali ohjaa hukkakipinäpuolan toista puoliskoa, josta tulee sylintereiden 1. ja 4. kipinä. Trig pos B liipaisee toisen puolan, johon on kytketty sylinterit 2. ja 3. Trig return pos A ja B liipaisevat kyseiset puolat moottoria käynnistettäessä. Trig pos A ja B tulee olla 180° erillään toisistaan ($360^\circ / 60 \text{ hammasta} = 6^\circ / \text{hammas}$, $180^\circ / 6^\circ = 30 \text{ hammasta}$).

6.3 Sytytyksen asetukset

Spark Settings

Trigger Angle = Setting + Additions
e.g. 77+45= 122

Trigger Angle (Deg) 60

Trigger Angle addition 0

Note: If req Trigger above 90
then select +22.5 Deg
if above 112.5 select +45

Cranking Timing Trigger Return

Cranking advance Angle (see F1) (Deg) 10

Hold Ignition 1

Spark Output Inverted (see F1) No

EXPERIMENTAL Oddfire No

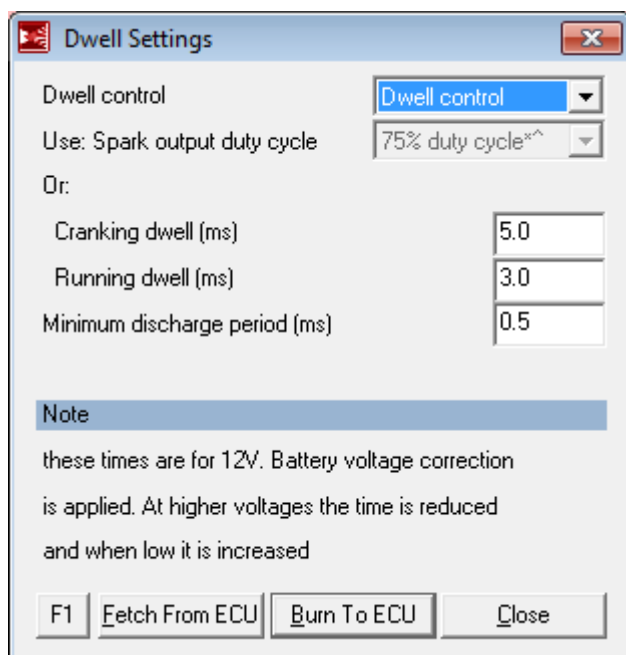
Fixed Angle (-10 = use map) (Deg) -10

Trim Angle (Deg) 0

F1 Fetch From ECU Burn To ECU Close

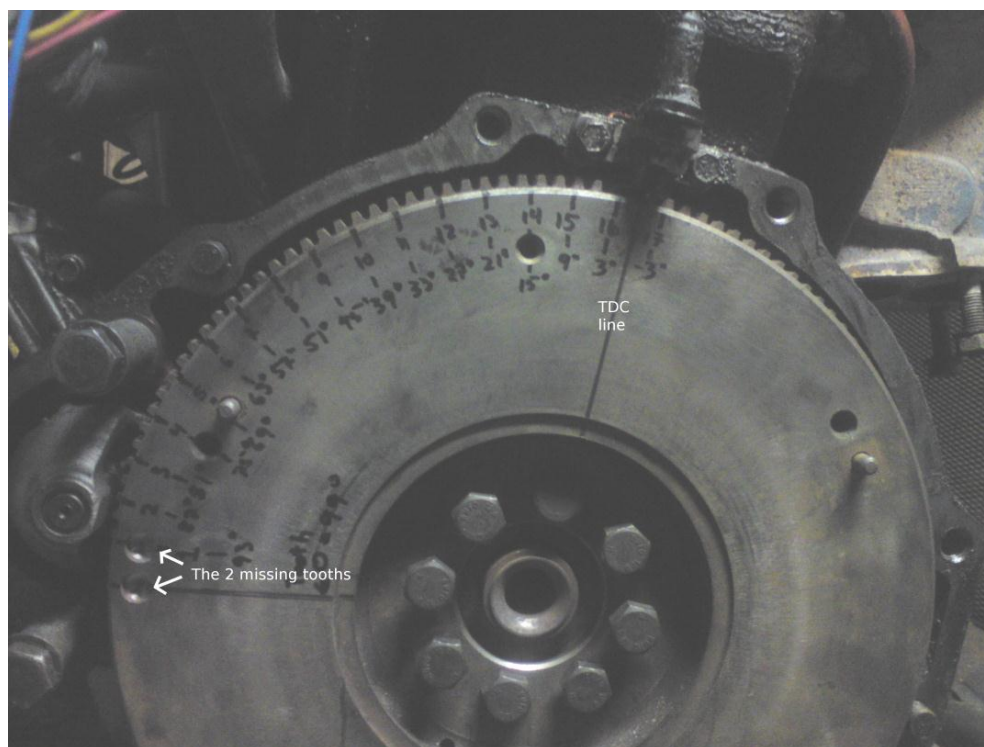
Kuva 19. Sytytyksen asetukset.

Cranking timing asetetaan "trigger return" -tilaan, kun halutaan käyttää moottorin käynnistyksen sytytyksessä triggeripyörään perustuvaa sytytyksen ajoitusta. Toinen vaihtoehto on käyttää aikaan perustuvaa "time based" -asetusta, mutta tämä tapa on yleensä epävarmempi, sillä moottorin pyörimisnopeus vaihtelee käynnistyksen aikana. "Spark output inverted" -asetus on ehdottoman tärkeä. Tämä asetus määrittelee, liipaiseeko sytytysyksikkö, kun signaali muuttuu +5 V:sta 0 V:iin (Non inverted/No) vai, kun signaali muuttuu 0 V:sta +5 V:iin (Inverted/Yes). Väärä asetus voi pahimmassa tapauksessa rikkoa sytytysyksikön. VAG 032 905 106B:n tapauksessa asetus pitää olla "No"-tilassa tai yksikkö hajoaa.



Kuva 20. Sytytyksen Dwell-asetukset

Dwell-asetuksista asetetaan sytytyspuolan latausajat. Useimmat puolat, joissa on sytytysmoduli sisäänrakennettuna, ohjaavat latausaikojaan itsenäisesti, mutta tässä työssä käytetty sytytyspuola tekee poikkeuksen.

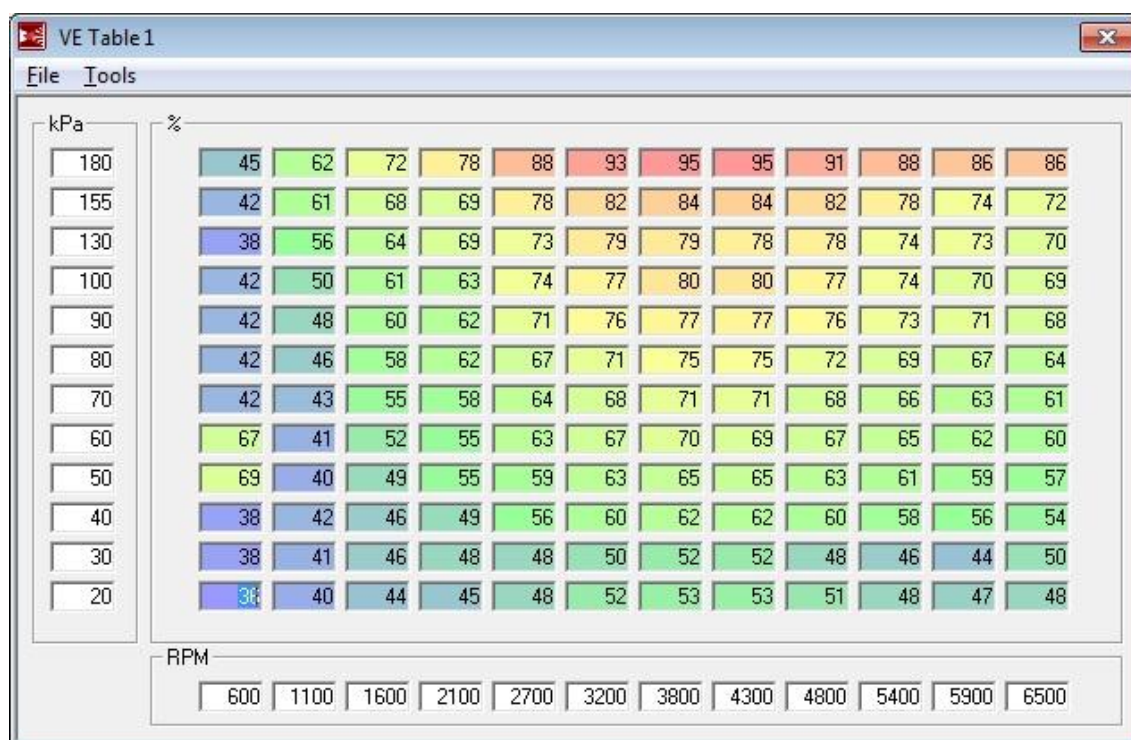


Kuva 21. Vauhtipyörä [3]

Trigger Angle on kulma ennen yläkuolokohtaa, jossa "trig pos A":han asetettu hammas ohittaa kampiakselin asentotunnistimen. Trigger Angle saadaan kääntämällä moottorin 1. sylinteri yläkuolokohtaan ja lasketaan triggeripyörän hampaiden väli yläkuolokohdasta Trig pos A hampaaseen (trig pos A = 6. hammas YKK= 16. hammas 10 väliä, $10 \cdot 6 = 60$). Trigger angle on syytä asettaa 60 ° ja 70 ° väliin, pienemmät ja suuremmat arvot saattavat tuottaa ongelmia. Jos asentotunnistimen asento suhteessa yläkuolokohtaan kuitenkin vaatii suuremman arvon, käytetään Trigger angle addition -valikon lisäarvoja. Trigger angle määrittää myös suurimman mahdollisen sytytysennakon.

6.4 Polttoainekartta

Polttoainekartta tai Fuel table on taulukko, jonka kautta säädetään moottoriin syötettävän polttoaineen määrää.



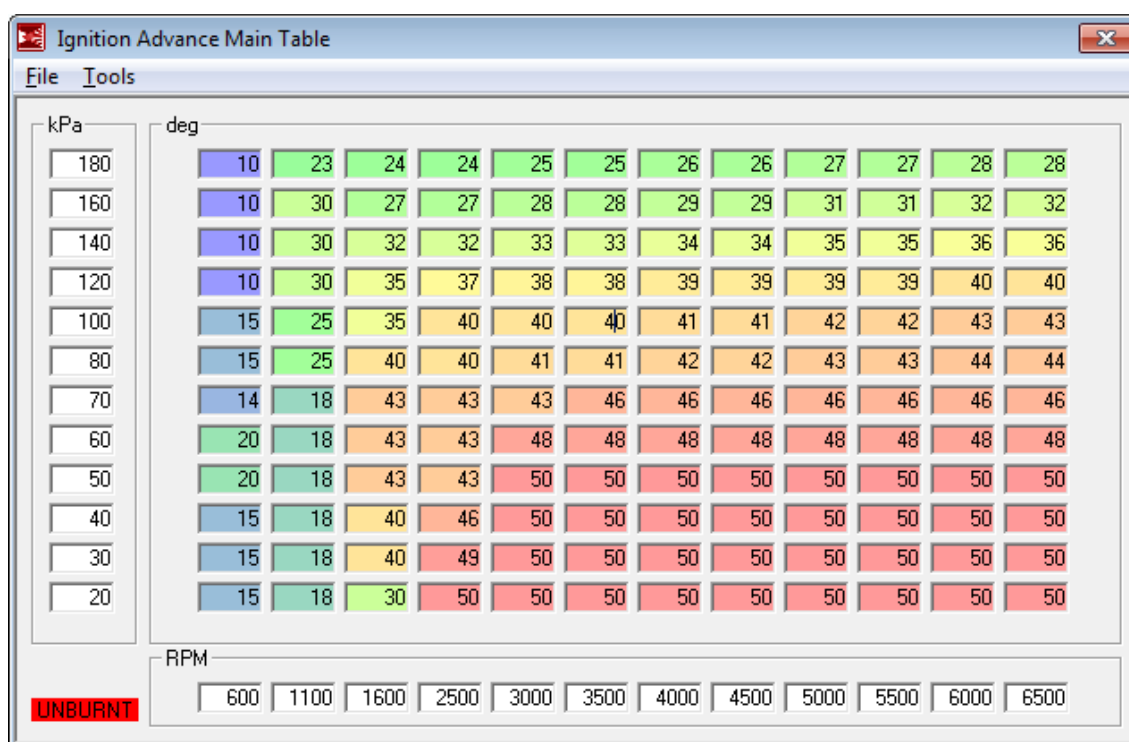
Kuva 22. Polttoainekartasta säädetään polttoaineen syöttöä moottoriin

Polttoaineen määrää ei säädetä suoraan suuttimien käyttöasteena eikä suuttimen aukioloaikana, vaan VE-arvona eli volymetriseen täyttösuhteena. MegaSquirt käyttää

taulukoon syötettyjä VE-arvoja laskiessaan polttoaineen määrää. Polttoaineen syötön määrä riippuu useista tekijöistä:

- Ideaalikaasulaista ($PV = nRT$), jolla saadaan laskettua moottoriin menevän ilman määrä.
- Mitatuista arvoista, esim. imusarjan paine, moottorin- ja ilmanlämpötila ja moottorin kierrosnopeus.
- Säätoarvoista, esim. Req_Fuel, VE-arvo.

6.5 Sytytyskartta



Kuva 23. Karttaan syötetään sytytysennakko asteina ennen YKK, kuvan arvot ovat esimerkkejä

Parhaan hyödyn MegaSquirtista saa irti, kun polttoaineensyötön lisäksi säädetään myös sytytysennakkoa. Erityisesti ahdetussa turbomoottorissa sytytyksen oikea säätäminen on erittäin tärkeää niin tehojen kuin moottorin kestävyyskannalta. Useimmat vapaastihengittävien moottorien vakiosytytykset eivät juuri ymmärrä ahtopainetta, ja niiden säätämä sytytysennakko ylipaineella saattaa mennä paljonkin metsään. Alkuperäisten turbomoottorien sytytyksessä saattaa niissäkin olla varaa

säätää, mikäli tavoitellaan enemmän tehoa tai vaikka taloudellisuutta, alkuperäisistä löytyy todennäköisesti kompromissejä tehojen kustannuksella.

7 Yhteenveto

MegaSquirt-projektin tulokset olivat kaiken kaikkiaan positiivisia. Tavoitteet, joita asetettiin, saavutettiin tai ne ovat saavutettavissa säätämällä. Auto sai huomattavan määrän lisää tehoreserviä, suurimmaksi osaksi johtuen turboahtimesta, joka on säädetty syöttämään moottoriin 0,8 barin ylipainetta. Moottorin säätäminen ja tiedonkeruu helpottuivat merkittävästi. Polttoaineen kulutus oli projektin lopussa samalla tasolla, kuin ennen projektin aloittamista. Taloudellisuus ei ollut työn ykköstavoite, mutta sen parantaminen on mahdollista säätämällä maantienopeuksissa syötettävän polttoaineen määrää.

Ongelmia muodostivat kylmäkäynnistykset ja sytytysennakon säätäminen. Kylmäkäynnistystä on saatu parannettua säätämällä kylmäkäynnistysrikastuksia, vielä parempaan lopputulokseen päästäisiin lisäämällä moottoriin kylmäkäyntisolenoideja antamaan lisää ilmaa moottorin ollessa kylmä. Ennakon säätäminen on paikoitellen hyvin tarkkaa moottorin ollessa ylipainealueella. Liian aikainen ennako aiheuttaa nakutusta ja liian myöhäinen saa moottorin pätkimään. Nakutusta aiheuttaa myös liian lauha seos ylipainealueella, mutta tätä saatiin korjattua säätämällä. Turbomoottorin luonteesta johtuen moottori herää vasta noin 3000 rpm kierrosnopeudessa. Tämä aiheuttaa huomattavaa puutuneisuuden tunnetta alhaisemmillä kierroksilla. Heräämistä olisi mahdollista aikaistaa paremmalla turboahtimella, paremmalla pakosarjalla ja paremmalla nokka-akselilla.

MegaSquirtin rakennus- ja asennusprojekti saatiin suoritettua suhteellisen vähillä ongelmilla. Itse MegaSquirt-yksikkö toimi täysin ilman ongelmia, eikä ongelmia myöskään esiintynyt rakennusvaiheessa. Yksikön asentaminen autoon ei vaatinut suuria muutoksia johtosarjaa lukuunottamatta. MegaSquirt on projektina erittäin opettavainen, joskin haastava ensimmäisellä kerralla, projekti vaatii paljon asiaan perehtymistä. Harrastajakenttä on kuitenkin valtava ja apua ongelmiin löytyy valtaisan dokumenttimäärän lisäksi myös lukuisilta autoaiheisilta internet-keskustelufoorumeilta.

Lähteet

- 1 MegaManual Information, Guides, and Links. Verkkodokumentti. Megamanual.
<http://www.megamanual.com/mtabcon.htm>. Luettu: 30.09.2013
- 2 MS Extra manual index. Verkkodokumentti. MS Extra.
<http://www.msextra.com/doc/index.html>. Luettu: 30.09.2013
- 3 All you need to know about the Volvo LH 2.4 60-2 flywheel. Verkkodokumentti.
Brickspeed.net. <http://brickspeed.net/forum/showthread.php?tid=449> Luettu:
13.02.2013
- 4 Bosch temperature sensors. Verkkodokumentti. Bosch
http://bosch.com.au/content/language1/downloads/sensors_temperature.pdf
Luettu: 21.02.2013
- 5 Missing Tooth or Cam Wheel Manual. Verkkodokumentti. MS Extra.
http://www.msextra.com/doc/ms2extra/MS2-Extra_Miss_Tooth.htm. Luettu:
30.09.2013
- 6 Hall vs. VR. Verkkodokumentti. Full Function Engineering.
<http://fullfunctioneng.com/info/Hall%20vs%20VR.pdf>. Luettu: 27.02.2013
- 7 Distributor Pickups with MegaSquirt-II. Verkkodokumentti. Megamanual.
<http://www.megamanual.com/ms2/pickups.htm> Luettu: 30.09.2013
- 8 Glossary. Verkkodokumentti. Megamanual.
<http://www.megamanual.com/ms2/glossary.htm>. Luettu: 20.02.2013
- 9 Bosch throttle position sensors. Verkkodokumentti. Bosch.
http://www.bosch.com.au/content/language1/downloads/sensors_throttleposition.pdf Luettu: 25.02.2013
- 10 Bosch oxygen sensors catalogue 2009–2010. Verkkodokumentti. Bosch.
http://www.bosch.com.au/content/language1/downloads/Oxygen_Sensor_Cat_WEB.pdf. Luettu: 11.03.2013
- 11 MPX4250 Datasheet. Verkkodokumentti. Datasheetdir.
<http://www.datasheetdir.com/MPX4250AP+download>. Luettu: 20.02.2013
- 12 MegaSquirt (V3.0 board) - Spark/ignition output. Verkkodokumentti. MS Extra.
<http://www.msextra.com/doc/general/sparkout-v30.html> Luettu: 30.09.2013
- 13 Ignition Control with the MegaSquirt-II. Verkkodokumentti. Megamanual.
<http://www.megamanual.com/ms2/ignition.htm> Luettu: 30.09.2013

- 14 MS1-Extra Basic Configuration manual. Verkkodokumentti. MS Extra.
[http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS_Extra_Basic_Configuration_Manual.
htm](http://www.msextra.com/doc/ms1extra/MS_Extra_Basic_Configuration_Manual.htm) Luettu: 30.09.2013